

OPTIMALISASI BALOK KASTELA DENGAN PERGESERAN LUBANG PADA SAYAP YANG TERTEKAN

Oleh:
Mas Anatin Evi W.
Drs. Ir. H. Karyoto, M.S.

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya
Jalan Ketintang, Surabaya 60231
e-mail: ephie_soul@yahoo.com

ABSTRAK

Open-Web Expanded Beams and Girders (perluasan balok dan girder dengan badan berlubang) adalah balok yang mempunyai elemen pelat badan berlubang, yang dibentuk dengan cara membelah bagian tengah pelat badan, kemudian bagian bawah dari belahan tersebut dibalik dan disatukan kembali antara bagian atas dan bawah dengan cara digeser sedikit kemudian dilas, yang saat ini lebih dikenal dengan metode kastela. Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Masita Nur Hayati, menunjukkan bahwa pada balok baja kastela terjadi penyimpangan perilaku distribusi tegangan penampang, yaitu semua penampang berperilaku menjadi tekan dan di serat bagian bawah tegangannya menjadi 0, yang seharusnya pada balok bagian bawah merupakan tegangan tarik. Oleh sebab itu, perlu dilakukan kajian bentuk baja kastela yang lubang kastelanya diturunkan, sehingga akan dilakukan penelitian tentang optimalisasi balok kastela dengan pergeseran lubang pada sayap yang tertekan, dengan harapan terbentuknya penampang balok baja kastela yang optimal.

Proses eksperimennya adalah profil baja WF 150.75.5.7 dibuat menjadi baja kastela. Pada eksperimen ini akan dibuat lima benda uji baja kastela dengan ukuran panjang masing-masing benda uji 1,46 meter dengan letak lubang yang berbeda-beda, untuk melihat kecenderungannya. Ukuran yang dibuat berbeda pada masing-masing benda uji adalah letak penurunan lubang dari sayap atas baja kastela (dta) yaitu, $dta_1=30,5\text{mm}$, $dta_2=35,08\text{mm}$, $dta_3=39,66\text{mm}$, $dta_4=44,24\text{mm}$, $dta_5=48,82\text{mm}$ yang kemudian akan diuji lendutannya.

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lubang bergeser ke bagian bawah maka semakin tinggi pula kekuatannya, namun dengan perbandingan penurunan lubang yang melebihi 30% kekuatannya menurun. Oleh karena itu, untuk mendapatkan penampang yang optimal penurunan lubang memiliki batasan, yaitu tidak melebihi 30% dari dta. Hal ini dapat dilihat pada masing-masing benda uji, yang memiliki kemampuan dalam menerima beban lebih besar yaitu pada benda uji 3 dimana $dta = 39,66\text{ mm}$. Sedangkan kekuatan balok baja kastela yang mempunyai penampang paling optimal, kekuatannya dapat mencapai 21,5% melebihi kekuatan balok baja kastela normal.

Kata Kunci: Baja Kastela, Penurunan lubang baja kastela.

ABSTRACT

Open-Web Expanded Beams and Girders is a beam that has a hollow body plate element, which is formed by splitting the middle of the plate body, then the bottom of the hemisphere behind and put back together between the top and bottom by sliding a little later welded, which is now known as Castellated method. Results of research conducted by Masita Nur Hayati, shows that there is deviant behavior sectional stress distribution, there are all cross sections behave became press and in the bottom voltage becomes 0, which is supposed to block the bottom of the tensile stress. Therefore, it is necessary to study about shape steel castellated which the hole castellated lowered, so that will be carried out research on the optimization of castellated beam with a hole in the wing shift depressed, with the hope optimal formation of a castellated beam section.

The process of experiment is 150.75.5.7 WF steel profiles made into castellated. In this experiment will be made five castellated specimen with a length of each specimen lies 1.46 meters with different holes, to see trends. Different sizes made on each specimen is the location of the holes of the upper wing decline castellated (dta), namely, $dta_1 = 30,5\text{mm}$, $dta_2 = 35,08\text{mm}$, $dta_3 = 39,66\text{mm}$, $dta_4 = 44,24\text{mm}$, $dta_5 = 48,82\text{mm}$ which will then be deflection tested.

Based on the results of the study showed that the shift to the bottom of the hole, the higher the strength, but with a reduction ratio exceeding 30% hole strength decreases. Therefore, to obtain the

optimal cross-section has a limited decrease in the hole, which does not exceed 30% of the dta. It can be seen on each specimen, which has the ability to accept a greater burden is on the specimen 3 where dta = 39.66 mm. While the strength of the castellated beam having the most optimal cross-section, its power can reach 21.5% exceeds the strength of the normal castellated.

Key Words: Castellated, Decline in steel hole Castellated.

PENDAHULUAN

Penggunaan baja dalam konstruksi bangunan akhir-akhir ini semakin meningkat. Baja dapat digunakan sebagai balok, kolom, dan konstruksi atap. Penggunaan baja meningkat dan semakin banyak pula jenis dan bentuk dari yang ditawarkan oleh pasar. Baja kastela merupakan salah satu bentuk yang saat ini diminati.

Batang-batang struktur baik kolom maupun balok harus memiliki kekuatan, kekakuan dan ketahanan yang cukup sehingga dapat berfungsi selama umur layanan struktur tersebut. Cara mendesain batang tarik yaitu balok baja harus memberikan keamanan dan menyediakan cadangan kekuatan yang diperlukan untuk menanggung beban layanan, yakni balok harus memiliki kemampuan terhadap kemungkinan kelebihan beban (*overload*) atau kekurangan kekuatan (*understrength*) (Fitri Rohmah, 2012: 1). Kelebihan beban dapat terjadi akibat perubahan fungsi balok, terlalu rendahnya taksiran atas efek-efek beban karena penyederhanaan yang berlebihan dalam analisis strukturalnya, dan akibat variasi-variasi dalam prosedur konstruksinya.

Open-Web Expanded Beams and Girders (perluasan balok dan girder dengan badan berlubang) adalah balok yang mempunyai elemen pelat badan berlubang, yang dibentuk dengan cara membelah bagian tengah pelat badan, kemudian bagian bawah dari belahan tersebut dibalik dan disatukan kembali antara bagian atas dan bawah dengan cara digeser sedikit kemudian dilas (Hosain dalam Fitri Rohmah, 2012: 1), yang saat ini lebih dikenal dengan metode kastela. Bentuk badan profil baja kastela tergantung dari teknis pembelahan pelat badan profil yang disesuaikan dengan kebutuhannya. Cara meningkatkan kapasitas lentur dan geser profil I adalah dengan membuat penampang I menjadi kastela. Profil kastela menjadi lebih tinggi daripada profil asli, sehingga inersia dan modulus penampang bertambah serta kapasitas lentur, lendutan dan geser meningkat (Suharjanto, 2005: 4).

Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Masita Nur Hayati, terkait dengan baja kastela, menunjukkan bahwa ada perilaku distribusi tegangan penampang, dimana yang pada baja utuh (baja WF) perilaku penampang balok di serat bagian atas mengalami tekan dan serat bagian

bawah mengalami tarik. Perilaku penampang pada balok baja kastela mengalami perubahan dimana di semua penampang berperilaku menjadi tekan dan di serat bagian bawah tegangannya menjadi 0 (Masita Nur Hayati, 2013: 107).

Penelitian tersebut menunjukkan bahwa sayap bagian bawah tidak bekerja atau tidak menerima beban yang besar, sehingga sayap bawah tidak optimal. Kondisi baja kastela sangat memungkinkan untuk mengalami perubahan dimana lubang kastela dapat diturunkan pada bagian penampang badan sayap bawah. Oleh sebab itu, perlu dilakukan kajian bentuk baja kastela yang lubang kastelanya diturunkan, sehingga akan dilakukan penelitian tentang optimalisasi balok kastela dengan pergeseran lubang pada sayap yang tertekan.

KAJIAN PUSTAKA

A. Balok Kastela (*castellated Beam*)

Balok Kastela (*castellated beam*) adalah balok yang dipakai untuk konstruksi bentang panjang (lebih dari 10 meter), yang berupa 2 profil baja yang disatukan untuk mendapatkan tinggi profil yang sesuai. Balok kastela disebut juga *honey comb beam*, karena bentuk lubang segi enamnya yang menyerupai sarang lebah (*honey comb*). Profil tersebut dilubangi untuk memperkecil berat sendiri profil dan agar sambungan las nya dapat lebih efektif dan efisien.

Proses Pembuatan

Proses fabrikasi dari *castellated beams* diuraikan sebagai berikut (Johann Griinbauer, 2001) :

Badan profil dibuat di cetakan hot-rolled (cetakan panas) berbentuk I, H, U dengan pola pemotongan zig-zag. Setengah hasil potongan tersebut digeser atau dibalik dimana ujung atas kanan dilas dengan ujung bawah kiri, dan sebaliknya. Sehingga lubang yang dihasilkan berbentuk segi enam (*hexagonal*).

Keuntungan dan Kekurangan Profil *Castellated Beam*

1. Keuntungan Profil *Castellated Beam*

Profil *Castellated Beam* dalam pemakaiannya memiliki beberapa keuntungan, berikut beberapa keuntungan dari profil *Castellated Beam*, menurut Jihad

Dokali Megharief (1997) dan **Johann Grünbauer, (2001)** :

- 1) Dengan lebar profil yang lebih tinggi (d_g), menghasilkan momen inersia dan modulus *section* yang lebih besar sehingga lebih kuat dan kaku bila dibandingkan dengan profil asalnya
 - 2) Mampu memikul momen lebih besar dengan tegangan ijin yang lebih besar
 - 3) Bahannya ringan, kuat, serta mudah dipasang.
2. Kekukaran dari *Castellated Beam*
- Menurut **Johann Grünbauer, (2001)** profil *castellated beam* memiliki beberapa kekurangan antara lain:
- a) *Castellated Beam* kurang tahan api, sehingga harus ditambah lapisan tahan api 20% lebih tebal agar mencapai ketahanan yang sama dengan profil awalnya.
 - b) Kurang kuat menerima gaya lateral, sehingga perlu diberi satu atau lebih plat pada ujung – ujung (dekat dengan pertemuan balok-kolom).

Kegagalan Pada Profil *Castellated*

Ada beberapa kegagalan dari pembuatan *castellated beam* antara lain:

1. *Lateral – Torsional – Buckling*
2. *Rupture of Welded Joint*

B. Dimensi *Castellated Beam*

Dibagi menjadi tiga parameter (**L. Amayreh dan M.P. Saka, 2005**), yaitu:

1. Sudut Pemotongan (ϕ)
Sudut pemotongan (ϕ) mempengaruhi jumlah *castellation* (N per unit panjang).
2. *Expansion Ratio* (α)
Expansion Ratio (α) adalah ratio pertambahan tinggi yang dicapai *castellation*.
3. *Welding Length* (e)
Bila panjang bidang disambungkan (las) terlalu pendek, maka akan terjadi kegagalan gaya geser horisontal pada badan profil. Sebaliknya, apabila panjang bidang yang disambung (las) terlalu panjang, berdampak pada pertambahan panjang bagian T (*tee section*) dimana akan terjadi kegagalan lentur *Vierendeel*.

C. Sambungan (Las)

Mengelas adalah menyambung dua batang logam dengan mempergunakan panas atau melalui peleburan. Las yang banyak dipakai adalah jenis las lumer.

D. Lendutan

Besarnya nilai tegangan yang terjadi pada balok tergantung pada besarnya beban yang didukung dan bentuk serta ukuran dari baloknya sendiri. Besarnya beban menentukan besarnya momen lentur yang terjadi (**Sudarmadi, 2008**). Lendutan beban terpusat:

$$\Delta = \frac{5}{384} \times \frac{P \cdot L^3}{E \cdot I}$$

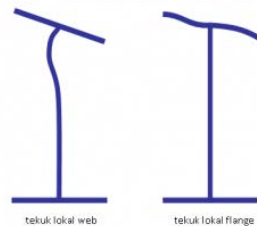
Lendutan maksimum yang diijinkan $\Delta_{maksimum} = \frac{L}{360}$

E. Tegangan

Tegangan adalah gaya yang bekerja pada baja per satuan luas penampang baja. Regangan merupakan respon dari tegangan, regangan yaitu perbandingan antara pertambahan panjang yang terjadi akibat tegangan dengan panjang baja mula-mula. Tegangan dasar adalah tegangan leleh yang dibagi dengan faktor keamanan. Hal ini diharapkan tegangan yang terjadi pada struktur tidak akan melampaui tegangan batas elastis, sehingga batang struktur selalu kembali ke bentuk semula pada saat tidak ada pembebanan.

F. Gaya Tekuk Lateral (*Buckling*)

Gaya tekuk lateral terjadi apabila elemen penampang pada sumbu Y tidak bisa menahan gaya aksial yang terjadi, sehingga terjadi pembengkokan pada bagian badan profil seperti pada gambar berikut. Faktor yang mempengaruhi gaya tekuk antara lain, karakteristik kekakuan, bentuk penampang, kelangsingan profil, dan panjang profil.



Gambar 1. Tekuk Lateral (*Buckling*)

METODOLOGI PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen, penelitian yang menggunakan profil baja sebagai bahan utama dalam penelitian. Dalam penelitian ini profil baja yang digunakan adalah profil baja berukuran 150.75.5.7.

Pada eksperimen ini akan dibuat lima benda uji baja *castellated beam* dengan ukuran panjang masing-masing benda uji 1,46 meter dengan letak lubang yang berbeda-beda, untuk melihat kecenderungannya. Ukuran yang dibuat berbeda pada masing-masing benda uji adalah letak

penurunan lubang dari sayap atas baja kastela (dta) yaitu, $dta_1=30,5\text{mm}$, $dta_2=35,08\text{mm}$, $dta_3=39,66\text{mm}$, $dta_4=44,24\text{mm}$, $dta_5=48,82\text{mm}$ yang kemudian akan diuji lendutannya.

Alat dan Bahan Eksperimen

- Bahan yang digunakan dalam penelitian
 - Profil baja
 - Las sebagai penyambung dalam pembuatan profil *castellated beam*
- Alat yang digunakan dalam penelitian *Castellated Beam*

Satu set alat untuk pengujian lendutan :

- Loading frame: Alat untuk menempatkan benda uji pada pengujian
- Tumpuan benda uji: Alat yang digunakan untuk menumpu benda uji saat pengujian
- Silinder jack: Alat yang digunakan untuk memberikan pembebanan pada pengujian
- Kontroler: Alat yang digunakan untuk mengontrol hidraulic jack saat pengujian
- Pc / software: Alat yang digunakan untuk mendeteksi hasil pengujian
- Dial gauge: Alat yang digunakan untuk mengukur besar hasil pengujian

Tahap-tahap penelitian

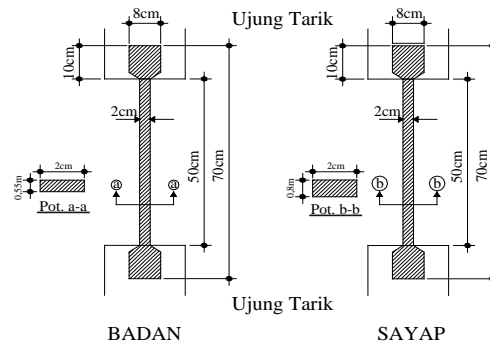
- Masa Persiapan

Pada tahap penelitian ini akan dilakukan pengujian mutu dari profil baja yang akan digunakan sebagai benda uji *castellated beam*.
- Preliminary Design.

Merencanakan dimensi balok dan profil yang akan digunakan dan mengubah profil baja WF menjadi profil *castella beam*.
- Pelaksanaan Pembuatan Benda Uji

Buat garis patron (garis pola desain) berbentuk *castella* atau trapesium tanpa alas pada bagian web profil. Gunakan *oxygen + acetylene* dengan *cutting torch* untuk memotong web sesuai garis pola yang sudah dibuat. Pisahkan setelah terpotong menjadi 2. Kemudian sambungkan kembali sisi-sisi horizontal dari 2 bagian tersebut. Balik dan sesuaikan kedua ujung-ujungnya agar menjadi simetris.
- Pengujian Benda Uji
 - Pengujian Mutu Baja

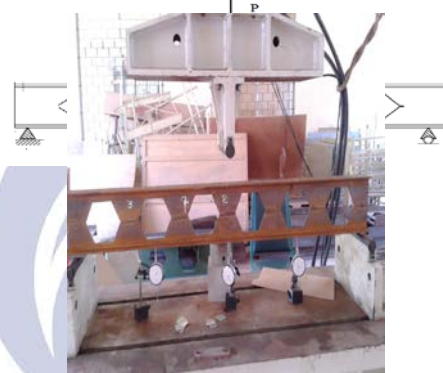
Tegangan mutu baja adalah tegak yang terjadi pada saat sebelum mulai lele



Gambar 2. Uji Tarik

- Uji kuat lentur

Sistem pengujian baja *castellated beam* yang dilakukan di laboratorium adalah dengan memberi beban terpusat di sekitar tengah bentang balok baja.



Gambar 3. Uji Kuat Lentur

- Pengolahan data hasil pengujian laboratorium

Setelah melakukan penelitian di laboratorium maka akan diperoleh data hasil pengujian, diantaranya:

- Data hasil pengujian momen lentur
- Data hasil pengujian tegangan lentur
- Kontrol geser pada bagian berlubang
- Kontrol geser pada bagian tidak berlubang
- Data hasil pengujian lendutan pada P maksimal
- Data hasil pengujian *buckling* pada P maksimal

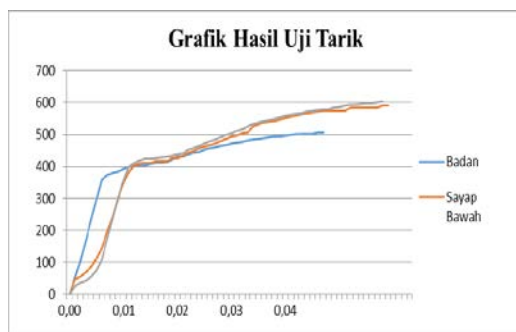
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Bahan

- Ukuran Dimensi

	Panjang Keseluruhan (mm)	Jarak Antar Tumpuan (mm)	Tinggi (dg) (mm)	Lebar Sayap (bf) (mm)	Tebal (mm)	Tinggi Potongan Profil (h) (mm)	Sudut Potongan (h) (mm)	Lebar Potongan (e) (mm)	dta (mm)	dth (mm)
Utah	1450,51	1350,51	150	75	5	7	-	-	-	-
BU 1	1450,51	1350,51	225	75	5	7	75	60°	92,5	30,5
BU 2	1450,51	1350,51	225	75	5	7	75	60°	92,5	35,08
BU 3	1450,51	1350,51	225	75	5	7	75	60°	92,5	39,66
BU 4	1450,51	1350,51	225	75	5	7	75	50°	92,5	44,24
BU 5	1450,51	1350,51	225	75	5	7	75	50°	92,5	48,82

2. Uji Tarik



Gambar 4. Grafik Uji Tarik

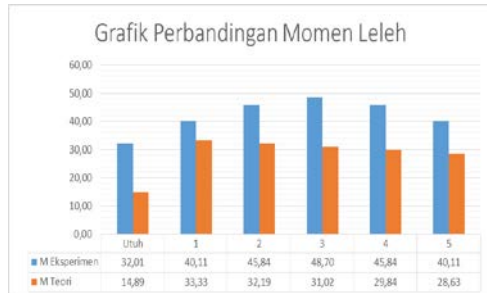
No	Keterangan	σ Leleh	σ Runtuh	E	ϵ
1	Badan	360,00	515,00	30000	0,024
2	Sayap Bawah	405,00	689,57	16875	0,026
3	Sayap Atas	400,00	660,47	18181,82	0,026
	Rata-rata Fy Leleh Badan	360,00			
	Rata-rata Fy Leleh Sayap	402,50			
	Rata-rata Fy Runtuh Badan		515,00		
	Rata-rata Fy Runtuh Sayap		675,02		
	Rata-rata			21685,61	0,025

Dari perhitungan hasil pengujian tarik diatas didapatkan nilai modulus elastis (E) baja WF 150.75.5.7 sebesar **21685,61 N/mm²**.

Kuat Lentur Balok

1. Perbandingan Momen Teori dengan Momen Eksperimen terhadap Penurunan Lubang

BU	Bentang (L) (mm)	P Leleh Eksperimen (KN)	Momen (KNm) Eksperimen	Momen (KNm) Teori	Rasio (Meks/MT) %
Utuh	1,35	94,82	32,01	14,89	214,94
1	1,35	118,79	40,11	33,33	120,34
2	1,35	135,76	45,84	32,19	142,40
3	1,35	144,24	48,70	31,02	156,98
4	1,35	135,76	45,84	29,84	153,62
5	1,35	118,79	40,11	28,63	140,09



Gambar 5. Grafik Momen Leleh

Penelitian ini sudah memenuhi ketentuan, yakni hasil perhitungan momen leleh eksperimen lebih besar dari momen leleh teori. Hal ini dapat dibuktikan pada Gambar 5, dari grafik menunjukkan semua benda uji memiliki nilai momen leleh eksperimen lebih besar dibandingkan dengan momen leleh teori. Ditinjau dari segi momen leleh, besar penampang badan atas (dta) optimalnya terletak pada benda uji 3 (dta₃= 39,66 mm) atau penurunan lubang tidak boleh melebihi 30% dari besar normal.

BU	Bentang (L) (mm)	P Runtuh Eksperimen (KN)	Momen (KNm) Eksperimen	Momen (KNm) Teori	Rasio (Meks/MT) %
Utuh	1,35	161,21	54,43	14,89	365,45
1	1,35	258,79	87,37	49,99	174,77
2	1,35	271,52	91,67	51,66	177,45
3	1,35	280,00	94,54	53,28	177,42
4	1,35	301,21	101,70	54,85	185,39
5	1,35	326,67	110,29	56,37	195,66



Gambar 6. Momen Runtuh

2. Perbandingan Tegangan Teori dengan Tegangan Eksperimen terhadap Penurunan Lubang

BU	Bentang (L) (m)	Momen (KNm) Eksperimen	Momen (KNm) Teori	Y (mm)	Tegangan (N/mm ²) Eksperimen	Tegangan (N/mm ²) Teori
Utuh	1,35	32,01	14,89	75,00	37,35	28,96
1	1,35	40,11	33,33	112,50	301,05	250,18
2	1,35	45,84	32,19	109,96	336,86	307,53
3	1,35	48,70	31,02	107,43	351,38	290,99
4	1,35	45,84	29,84	104,89	325,58	275,51
5	1,35	40,11	28,63	102,36	281,25	260,99



Gambar 7. Tegangan Leleh

Hasil pengujian tegangan leleh pada Tabel 4.6, menunjukkan bahwa benda uji 3 (dta₃= 39,66 mm) memiliki tegangan eksperimen yang paling besar, hal ini dikarenakan pada benda uji 3 momen eksperimennya besar, tinggi profil dan momen inersianya cenderung sama sehingga tegangan yang dihasilkan besar.

BU	Bentang (L) (m)	Momen (KNm) Eksperimen	Momen (KNm) Teori	Y (mm)	Tegangan (N/mm ²) Eksperimen	Tegangan (N/mm ²) Teori
Utuh	1,35	54,43	14,89	75,00	63,50	28,96
1	1,35	87,37	49,99	112,50	655,86	375,27
2	1,35	91,67	51,66	115,04	704,77	397,18
3	1,35	94,54	53,28	117,57	746,47	420,74
4	1,35	101,70	54,85	120,11	827,13	446,15
5	1,35	110,29	56,37	122,64	926,69	473,63



Gambar 8. Tegangan Runtuh

Kontrol Geser Pada bagian penampang berlubang

BU	Bentang (L) (m)	P Runtuh Eks. (KN)	Vu	Vn	Vn-Vu	Keterangan
Utuh	1,35	161,21	80,61	309,07	228,46	Vu<Vn = Geser Aman
1	1,35	258,79	129,39	249,17	119,78	Vu<Vn = Geser Aman
2	1,35	271,52	135,76	249,17	113,42	Vu<Vn = Geser Aman
3	1,35	280,00	140,00	249,17	109,17	Vu<Vn = Geser Aman
4	1,35	301,21	150,61	249,17	98,57	Vu<Vn = Geser Aman
5	1,35	326,67	163,33	249,17	85,84	Vu<Vn = Geser Aman

Pada bagian penampang tidak berlubang

BU	Bentang (L) (m)	P Runtuh Eks. (KN)	Vu	Vn	Vn-Vu	Keterangan
Utuh	1,35	161,21	80,61	309,07	228,46	Vu<Vn = Geser Aman
1	1,35	258,79	129,39	249,17	119,78	Vu<Vn = Geser Aman
2	1,35	271,52	135,76	249,17	113,42	Vu<Vn = Geser Aman
3	1,35	280,00	140,00	249,17	109,17	Vu<Vn = Geser Aman
4	1,35	301,21	150,61	249,17	98,57	Vu<Vn = Geser Aman
5	1,35	326,67	163,33	249,17	85,84	Vu<Vn = Geser Aman



Gambar 9. Kuat Geser

Berdasarkan tabel dan gambar 9, menunjukkan bahwa dari semua benda uji ada kecenderungan semua gaya geser eksperimen (V_u) yang ditunjukkan oleh reaksi tumpuan baik di tumpuan sendi maupun rol, nilainya lebih kecil dibanding dengan gaya geser nominal (V_n), maka runtuh yang terjadi bukan runtuh geser. Sehingga jika dibandingkan dengan kemampuan lentur pada sub bab sebelumnya, maka semua benda uji yang terjadi runtuh lentur.

Optimalisasi Balok Baja Kastela (Castellated Beam)

1. Lendutan

BU	Bentang (L) (mm)	P Sebelum Leleh (KN)	Lendutan Eks. (mm)	Rasio $(1/\Delta) \times L$
Utuh	1350	94,82	1,50	1/900 L
1	1350	118,79	1,75	1/771 L
2	1350	135,76	1,93	1/701 L
3	1350	144,24	1,87	1/722 L
4	1350	135,76	1,70	1/794 L
5	1350	118,79	1,98	1/682 L

BU	Bentang (L) (mm)	P Maksimal Eks (KN)	Lendutan Eks. (mm)	Rasio $(1/\Delta) \times L$
Utuh	1350	161,21	5,22	1/259 L
1	1350	258,79	5,54	1/244 L
2	1350	271,52	5,24	1/258 L
3	1350	280,00	5,47	1/247 L
4	1350	301,21	5,57	1/242 L
5	1350	326,67	7,69	1/176 L

Perbandingan Lendutan Teori Leleh dan Lendutan Teori Runtuh



Gambar 10. Lendutan Leleh dan runtuh

Ditinjau dari pengukuran lendutan yang menggunakan *dial gauge* pada saat pengujian, menunjukkan bahwa lendutan pengukuran dengan lendutan perhitungan berdasar rumus pada bab sebelumnya, secara umum baik pada kondisi leleh maupun runtuh, lendutan pengukuran jauh lebih kecil dibanding lendutan perhitungan. Hal ini dikarenakan deformasi yang terjadi pada benda uji lebih besar ke arah horisontal (buckling) daripada deformasi arah vertikal (lendutan). Sehingga kerusakan yang terjadi pada umumnya tekuk sayap atau tekuk badan.

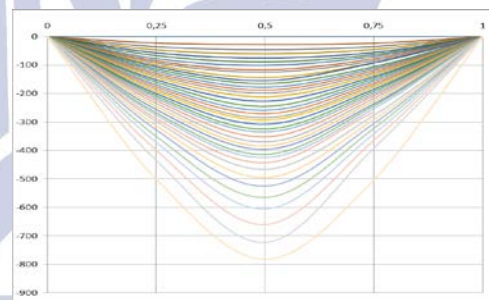
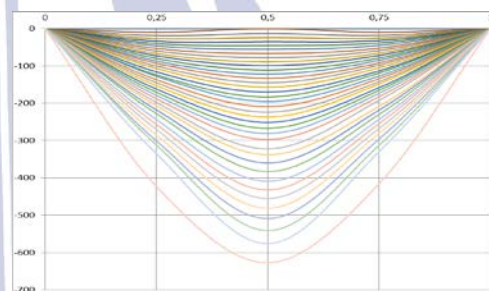
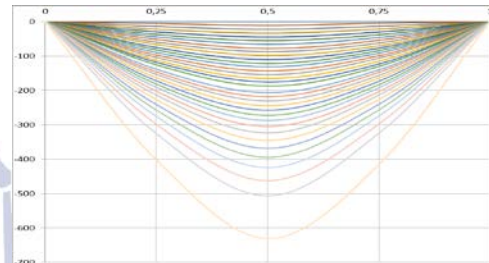
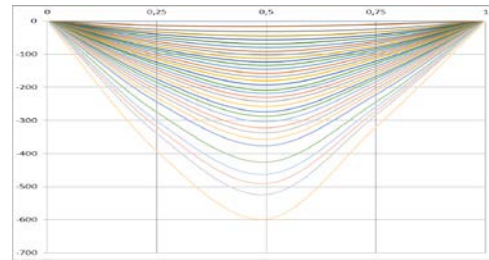
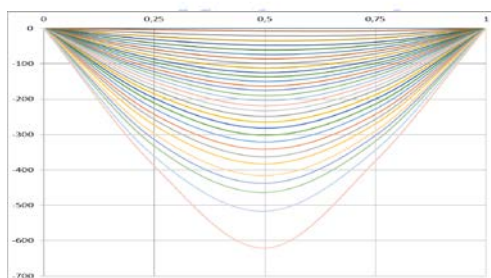
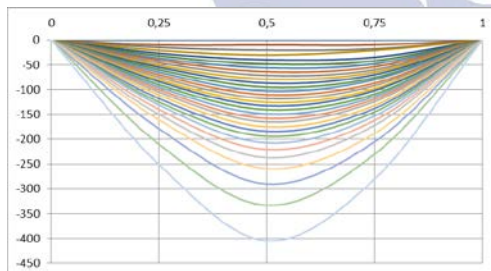
Besaran tekuk sayap masing-masing benda uji yang diukur dengan *dial gauge* dapat dilihat pada tabel berikut:

BU	Buckling Runtuh (mm)	Lendutan Eks. (mm)
Utuh	7,89	5,22
1	7,22	5,535
2	6,53	5,24
3	6,86	5,47
4	6,83	5,57
5	7,89	7,69

Berdasarkan Tabel 4.16 menunjukkan bahwa terjadinya tekuk sayap karena deformasi horisontal (buckling) lebih besar dibanding deformasi vertikal (lendutan) dari semua benda uji menunjukkan lebih besar deformasi horisontal. Benda uji utuh deformasi horisontal 7,89 mm, deformasi vertikal 5,22 mm. Demikian juga untuk benda uji yang berlubang tidak ada satupun yang deformasi vertikal lebih besar daripada deformasi horisontal. Hal ini disebabkan karena tinggi baja kastela terlalu besar, sehingga momen inersia terlalu tinggi berdampak pada arah vertikal terlalu kuat dan arah horisontal terutama sayap kekuatannya lebih kecil sehingga terjadi tekuk sayap.

2. Gambar Grafik Lendutan

Dibawah ini merupakan grafik lendutan masing-masing benda uji.



Kesimpulan

Dari hasil data dan analisis pada BAB IV, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin luas penampang badan atas (dta) berbanding lurus dengan penampang baja kastela yang optimal, ditinjau dari kuat lenturnya. Namun, untuk mendapatkan penampang yang optimal penurunan lubang memiliki batasan, yaitu tidak melebihi 30% dari dta. Hal ini dapat dilihat pada masing-masing benda uji, yang memiliki kemampuan dalam menerima beban lebih besar yaitu pada benda uji 3 dimana dta = 39,66 mm.
2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa balok baja kastela yang diberi perilaku penurunan

- lubang memiliki kemampuan dalam menerima beban yang lebih besar dibandingkan dengan balok baja kastela normal. Kekuatan balok baja kastela yang mengalami penurunan lubang dapat mencapai 21,5% melebihi kekuatan balok baja kastela normal.
3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan adanya pergeseran lubang ke bawah pada semua benda uji, tegangan daerah tekan (d_{ta}) mempunyai nilai yang hampir sama dengan tegangan daerah tarik (d_{tb}). Dengan demikian tegangan dapat tersalurkan secara merata. Selain itu pula tegangan leleh dan tegangan runtuh eksperimen yang terjadi melebihi tegangan mutu baja, sehingga yang di alami benda uji pada saat pengujian adalah runtuh lentur.
 4. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua benda uji mengalami lentur dan tidak terjadi runtuh geser, itu terbukti dengan besarnya gaya lintang dari pembebanan (V_u) lebih kecil dari kuat geser nominal (V_n), atau dengan kata lain persamaan $V_u < V_n$ sebagai perencanaan kuat geser telah terpenuhi.
 5. Berdasarkan data hasil penelitian dalam sub bab lendutan menunjukkan bahwa terjadinya tekuk sayap karena deformasi horisontal (buckling) lebih besar dibanding deformasi vertikal (lendutan). Benda uji utuh deformasi horisontal 7,89 mm, deformasi vertikal 5,22 mm. Demikian juga untuk benda uji yang berlubang tidak ada satupun yang deformasi vertikal lebih besar daripada deformasi horisontal. Hal ini disebabkan karena tinggi baja kastela terlalu besar, sehingga momen inersia terlalu tinggi berdampak pada arah vertikal terlalu kuat dan arah horisontal terutama sayap kekuatannya lebih kecil sehingga terjadi tekuk sayap.
- Welding Society, *Welding Research Supplement*, 52:8, 329S-342S. 1971.
- L. Amayreh and M.P. Saka. 2005. Departemen od Civil Engineering, University of Bahrain "*Failure Load Prediction of Castellated Beams Using Artificial Neural Network*".
- Masita Nur Hayati. 2013. "*Optimalisasi Balok Baja kastela Ditinjau Dari Lendutan*". Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Miss Komal S. Bedi and Mr.P.D. Pachpor. 2012. International Journal of Engineering Research and Application (IJERA) Vol. 1, ISSN: 2248-9622 "*Moment and Shear Analysis of Beam with Different Web Openings*".
- M.R. Wackhaure and A.V. Sagade. 2012. International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Vol 2, ISO 9001:2008 Certified "*Fint Element Analysis of Castellated Steel Beam*".
- Suharjanto. 2005. Jurnal Teknik Vol 13, No 2 "*Kajian Banding Secara Numerik Kapasitas Dan Perilaku Balok Baja Kastela Menggunakan Program SAP 2000*". Jakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Berkat Cipta. 2012. "*Pengaruh Besar Sudut Terhadap Op-timalisasi Tegangan Lentur Pada Balok Castella Beam*". Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Fitri Rohmah. 2012. "*Pengaruh Tinggi Pemotongan Profil (h) Terhadap Ptimalisasi Tegangan Lentur dan Bahan Baja Balok Kastela (Castellated Beam) Ditinjau Dari Lendutan*". Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Hosain.. M.U., and Spiers. W.G. *Experiments on castellated steel beams. J. American*